

УДК 528.8

© С.Л. Никулин, О.В. Коробко

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМА КЕННИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЯРКОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Исследован вопрос выделения границ яркости на космических снимках при помощи оптимального детектора Кенни. Экспериментальным путём установлены значения верхнего и нижнего порогов, используемых алгоритмом Кенни, оптимальные с точки зрения удовлетворения эвристическим критериям качества выделения границ.

Досліджене питання виділення границь яскравості на космічних знімках за допомогою оптимального детектору Кенні. Експериментальним шляхом установлені значення верхнього й нижнього порогів, що використовуються алгоритмом Кенні, оптимальні з погляду задоволення евристичним критеріям якості виділення границь.

Influence of Canny's optimal detector parameters on results of brightness edges allocation on satellite images is studied. Experimental values of the high and low thresholds used by Canny algorithm, which optimal for same heuristic criteria of quality of edges allocation are found.

**Постановка и состояние проблемы.** Последние десятилетия характеризуются активным внедрением в практику наук о Земле данных дистанционного зондирования, среди которых ведущую роль играют материалы космических съемок. Среди приёмов обработки космических данных важную роль играет выделение границ яркости (тона), которым обычно соответствуют контуры полигональных и оси линейных объектов техногенного и природного происхождения.

Границы – это линии на изображении, вдоль которых происходит резкое изменение яркости или ее производных по пространственным переменным. Выделенные границы являются простейшими тематическими признаками, которые являются опорной информацией при последующем линеаментном анализе космоснимков. Выделение границ яркости является, в частности, важным этапом при дешифрировании снимков, их линеаментном анализе и выполнении ряда других процедур.

Наиболее распространённым алгоритмом выделения в настоящий момент является т.н. оптимальный детектор Кенни. В силу этого, детальный анализ его свойств и результатов применения к космическим снимкам разного разрешения является важной и актуальной задачей.

**Цель работы** – изучение влияния параметров алгоритма Кенни на результаты выделения границ яркости на геоизображениях с целью определения оптимальных значений параметров для повышения эффективности работы алгоритма.

Выделение границ яркости при помощи детектора Кенни. Одной из основных задач, встающей перед разработчиками алгоритмов выделения границ яркости, является усиление разницы между грациями яркости контурных элементов объекта и соседних элементов фона. Для этого используются специальные приёмы подчеркивания границ, среди которых нерезкое маскирование [1], разнообразные свертки изображения с использованием масок с

высокочастотным откликом [2], пространственное дифференцирование функции яркости [3], и получившие широкое распространение методы, основанные на выделении контрастных перепадов. Последние используют некоторые пороговые значения, с которым сравнивают длину вектора градиента. Это в ряде ситуаций приводит к прерывистости контурных линий или их утолщению. Для борьбы с этим недостатком были предложен ряд т.н. детекторов, самым лучшим из которых считается детектор Кенни.

В 1986 г. Кенни (Canny) разработал детектор оптимальной фильтрации контрастных перепадов [4]. В качестве модели контрастного перепада была выбрана ступенька (функция Хевисайда), зашумлённая белым шумом с распределением Гаусса. Было предложено три критерия оптимальности: высокая вероятность детектирования границы, высокая точность её локализации и единственность отклика на один контрастный перепад.

Алгоритм Кенни выполняется в 6 шагов:

Изображение обрабатывается фильтром Гаусса для освобождения от шума и сглаживания.

В каждой точке находится значение абсолютного градиента яркости изображения при помощи оператора Собеля, Превитта или другого подобного.

Вычисляется угловое направление градиента.

Угловые направления квантуются с шагом  $45^\circ$ .

Применяется процедура не-максимального подавления (*nonmaximum suppression*), которая позволяет получить границу единичной толщины.

Для получения гладких границ применяется процедура гистерезиса, использующая 2 порога яркости.

В то время как первые три шага применяются и в других детекторах (например, Собела), последние три имеются только в детекторе Кенни. Особый интерес представляет последний шаг, потому как благодаря ему достигается высокое качество выделения границ.

Общий смысл процедуры гистерезиса следующий. Если к изображению применяется один порог  $T$ , и контур объекта имеет среднюю яркость, равную  $T$ , то из-за шума могут появляться отрезки, на которых яркость может падать ниже этого порога. Аналогично, она может прыгать и выше порога, придавая линии контура размытость. Чтобы этого избежать, процедура гистерезиса использует два порога – нижний  $TL$  и верхний  $TH$ .

Каждый пиксел изображения, имеющий значение выше  $TH$ , помечается как граничная точка. Затем каждый пиксел, соединенный с ним и имеющий значение больше  $TL$ , также помечается граничным. Цепочка продолжается до тех пор, пока значение пиксела не падает ниже  $TL$ . Если же на всем фрагменте нет ни одной точки со значением большим верхнего порога, то он удаляется. Так последовательно рассматриваются все фрагменты границ. В результате получается бинарное изображение, содержащее границы.

В связи с этим особое значение приобретает проблема выбора значений порогов, которая обычно решается путём визуальной оценки результатов, полученных при разных наборах  $TH$  и  $TL$ .

**Исходные данные и инструментарий исследований.** В качестве исходных данных для экспериментов использовался набор из 25 космических снимков, сделанных различной съемочной аппаратурой, различного разрешения, отражающих как горные, так и равнинные участки земной поверхности.

Вычисления проводились в среде специализированной геоинформационной системы РАПИД, разрабатываемой на кафедре геоинформационных систем ГБУЗ «НГУ» [5].

**Методика исследований.** Целью экспериментов было нахождение таких параметров алгоритма Кенни, при которых достигалось бы оптимальное значения определённого показателя качества выделения границ, отражающего интуитивно-понятные эвристические критерии качества выделения границ:

а) границы должны выделяться чётко, и не иметь большого количества разрывов;

б) должны выделяться только основные, имеющие достаточную протяжённость и чёткость, границы, во избежание ситуации, когда получаемая бинарная карта перегружена многочисленными 1-2-пиксельными фрагментами. Указанные требования являются взаимоисключающими – максимальное удовлетворение одного ведёт к минимальному удовлетворению другого. Поэтому речь может идти о поиске некоторого оптимального значения, соответствующего экстремуму или точке перегиба графика, отражающего зависимость между исследуемым параметром алгоритма и показателем качества выделения границ.

Предложено использовать показатель качества выделения границ яркости:

$$D = N/O,$$

где  $N$  – количество конечных (краевых) точек фрагментов границ на изображении (равно удвоенному количеству цельных фрагментов);

$O$  – количество единичных (ненулевых) пикселей, соответствующих границам на бинарном изображении.

Эксперименты проводились по следующей методике.

На первом этапе к исходным космическим снимкам применялась процедура выделения границ и тем самым происходил перевод снимков в бинарный формат.

На втором этапе производилось нахождение конечных пикселей выделенных границ.

На третьем этапе происходила обработка выделенных границ скользящим окном, внутри которого определялось количество разрывов границ (конечных пикселей границ) и вычислялось отношение количества разрывов к общему числу пикселей на изображении (показателя качества  $D$ ). В результате строятся графики зависимостей показателя  $D$  от параметров алгоритма Кенни – значений порогов  $TL$  и  $TH$ .

Ниже приведены результаты экспериментов, иллюстрирующие наиболее существенные выводы о влиянии параметров алгоритма Кенни на результаты выделения границ.

На рисунке 1 показан график зависимости показателя  $D$  от значения нижнего порога  $TL$  при фиксированном значении верхнего порога  $TH$ . График построен по средним значениям  $D$ , полученным для каждого из 25-ти исходных изображений.

На рисунке 2 показан график зависимости показателя  $D$  от значения верхнего порога  $T_H$  при фиксированном значении нижнего порога  $T_L$ . График построен по средним значениям  $D$ , полученным для каждого из 25-ти исходных изображений.

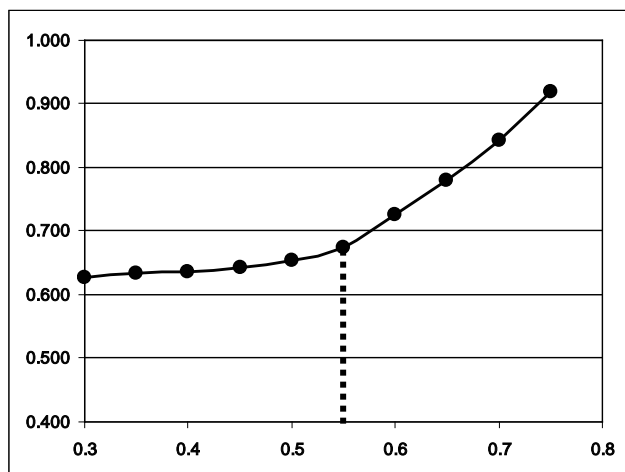


Рисунок 1 – График зависимости показателя  $D$  от значения нижнего порога  $T_L$  при фиксированном значении верхнего порога  $T_H=0.9$

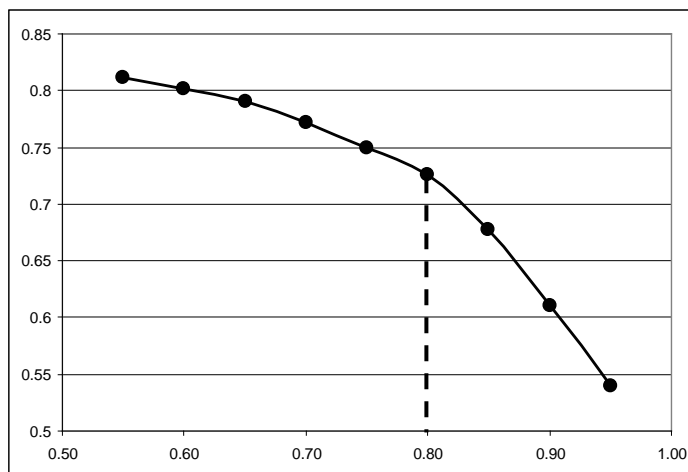


Рисунок 2 – График зависимости показателя  $D$  от значения верхнего порога  $T_H$  при фиксированном значении нижнего порога  $T_L=0.55$

Поскольку графики на изучаемых интервалах значений порогов не имеют экстремумов и точек перегиба, в качестве искомого значения целесообразно принять точки наиболее резкого изменения производной. Анализ этих точек позволяет рекомендовать в качестве значений порогов  $T_L=0.55$  и  $T_H=0.8$ . При этих значениях на снимках границы яркости отражают все основные геологические и техногенные структуры, и при этом не выделяются мелкие, несущественные детали.

Практическая проверка. Сделанные выводы подтверждаются результатами исследований на реальных примерах, приведенных на рисунках 3 и 4.

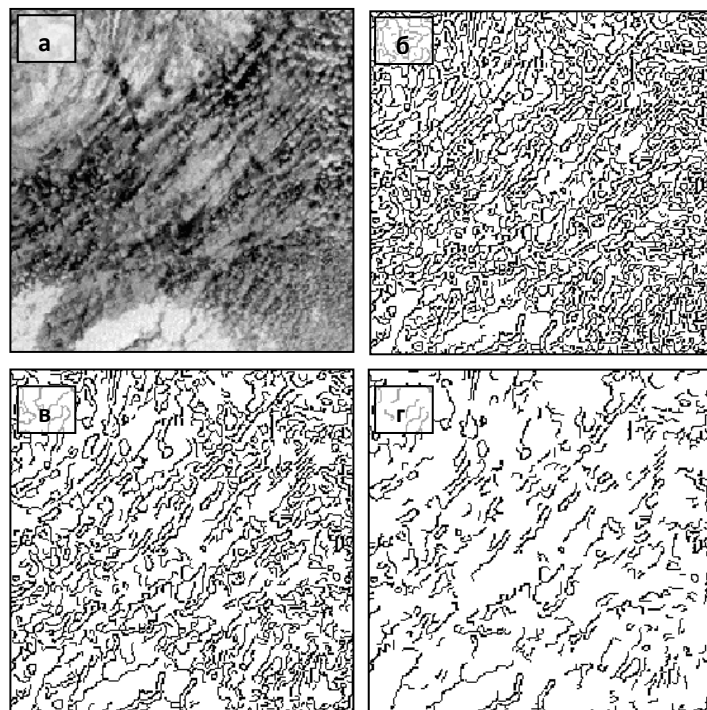


Рис. 3. Космический снимок части Крымского полуострова (а) и результаты выделения границ яркости при трёх парах значений порогов –  $T_L=0.3$  и  $T_H=0.5$  (б),  $T_L=0.55$  и  $T_H=0.8$  (в),  $T_L=0.7$  и  $T_H=0.95$  (г)

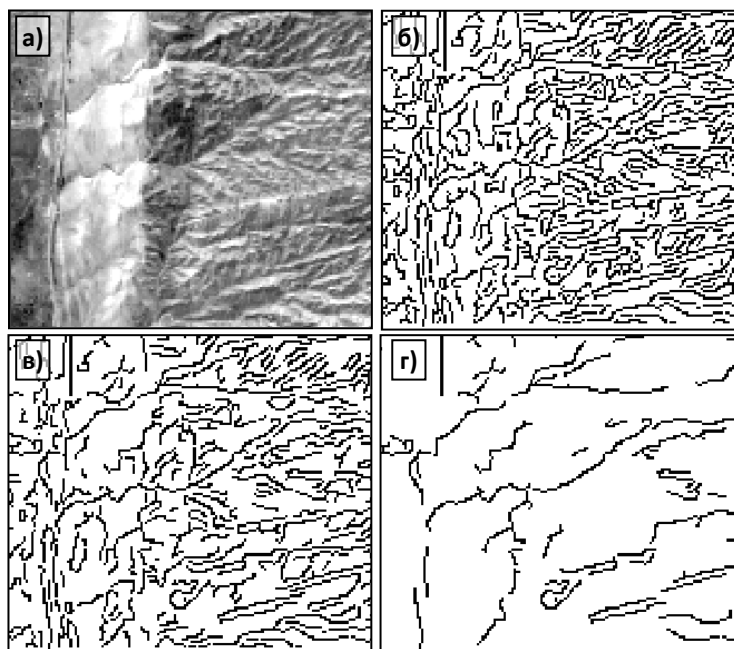


Рис. 4. Космический снимок территории Узбекистана (а) и результаты выделения границ яркости при трёх парах значений порогов –  $T_L=0.3$  и  $T_H=0.5$  (б),  $T_L=0.55$  и  $T_H=0.8$  (в),  $T_L=0.7$  и  $T_H=0.95$  (г)

На рисунке 3а приведен фрагмент Крымского полуострова на первом спектральном канале снимка Landsat-5, а также результаты выделения границ яркости при трёх парах значений порогов –  $T_L=0.3$  и  $T_H=0.5$  (рис. 3б),  $T_L=0.55$  и  $T_H=0.8$  (рис. 3в) и  $T_L=0.7$  и  $T_H=0.95$  (рис. 3г).

Очевидным недостатком изображения 3б является перегруженность малозначимыми деталями, в результате чего удельный вес границ, соответствующих крупным и средним структурам снимка, резко снижается, и

дальнейшей интерпретации подвергаются, в основном, несущественные объекты.

Границы яркости на рисунке 3г, напротив, отражают лишь небольшое число наиболее ярко выраженных структур снимка. В такой ситуации могут быть пропущены даже крупные структуры, если им не соответствуют сильные перепады яркости. При столь существенных потерях полезной информации дальнейшая обработка и интерпретация карт границ яркости во многих случаях будет лишена практического смысла.

Наилучшие результаты получены при использовании порогов  $TL=0.55$  и  $TH=0.8$  (рис. 3в). Выделенные геологические границы отражают наиболее существенные структуры, в том числе те, которые не выражены сильными перепадами яркости (с этой точки зрения показательные субширотные линейные структуры), при этом изображение не перегружено короткими, фрагментарными границами, которые соответствуют незначительным деталям ландшафта.

Аналогичные выводы можно сделать и по результатам анализа рисунка 4, на котором представлен космический снимок одного из среднегорных участков территории Узбекистана и результаты его обработки при помощи алгоритма Кенни.

**Выводы.** В результате многочисленных вычислительных экспериментов, направленных на изучение влияния параметров алгоритма Кенни на результаты выделения границ яркости на космических снимках, были установлены значения верхнего и нижнего порога, оптимальные с точки зрения одновременного удовлетворения двум критериям качества: а) границы должны выделяться чётко, и не иметь большого количества разрывов; б) должны выделяться только те границы, которые отражают значимые геологические структуры. Эти значения составили  $TL=0.55$  для нижнего порога и  $TH=0.8$  для верхнего.

Полученные результаты способны сократить время, необходимое на исследование исходных космических снимков и повысить эффективность их дальнейшей обработки и анализа при решении разнообразных пространственных задач.

#### Список литературы

1. Гук А.П. Автоматизированная система обработки аэрокосмических изображений / А.П. Гук, В.М. Дементьев, В.П. Пяткин – Новосибирск: НИИГАиК, 1989. – 68 с.
2. Pratt W.K. Digital Image Processing / W.K.Pratt. – Wiley, 2007. – 807 p.
3. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений / В.А. Сойфер. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
4. Canny J. A computational approach to edge detection/ Canny J. // IEEE Trans. PAMI. – 1986. – V. 8. – P. 34-43.
5. Пивняк Г.Г., Бусыгин Б.С., Никулин С.Л. ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных. // Доповіді Національної академії наук України. – 2007. – №6 – С. 121-128.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бусигінім Б.С.  
Надійшла до редакції 16.01.15*